

動向

立命館大学 S R 光施設 — S R 光源の分散と特徴化 —

中山 康之, 岩崎 博, 山田 廣成

立命館大学理工学部*

Ritsumeikan University SR Facility

— distributing and distinguishing of SR source in Japan —

Yasuyuki NAKAYAMA, Hiroshi IWASAKI, and Hironari YAMADA

Faculty of Science and Engineering, Ritsumeikan University

A superconducting 600 MeV SR source has been approved to construct at Biwako•Kusatsu Campus (BKC, Shiga), Ritsumeikan University, Kyoto Japan. The SR source developed by Sumitomo Heavy Industries, Ltd. as AURORA (useful photon energy; ~8keV) will be supplied early summer in 1995 there. And the first SR light at BKC will be observed on April, 1996. The source is well equipped with 14 light channels such as XAFS, SR-photoelectron spectroscopy, X-ray microscope, and so on. Using the source a new idea of “photon strage” is demonstrated as well as “inverse Compton effect”. The facility is opened for universities and industries of all over the world, especially for Asian countries, and serves also for student education and training of industry people concerned.

1. まえがき

立命館大学は、新しく完成したびわこ・くさつキャンパスの一角に小型 SR 光源を設置することを決定した。

我が国における SR 施設の歴史と現状をみると、まず 1975 年、東大の SR 光源 SOR-RING は、現在世界中に設置されている大小 40 基をこえる SR 専用光源の口火となった。

高エネルギー物理学研究所の中型 SR 光施設 (PF, 2.5GeV) は、稼動を始めて 13 年を経過したが、この間電子ビームの質 (ビームサイズ, エミ

ッタンス) の向上や挿入型光源 (ウィグラー, アンデュレータ) による放出光子の短波長化や高輝度化が進み、さらに光子源も電子から陽電子にきりかえられた。分子科学研究所の SR 光施設 (UV-SOR, 750MeV) も 11 年を経過し、同様に短波長・高輝度等の多機能化が実現している。両研究所とも国立研究所として、維持費や研究費等のサポートを国家からうけながら優れた多くの成果を世に送っている。一方、国内個別企業においても、それぞれ社内特定用途の小型 SR 光源が合計 7 基稼動に入っている。

*立命館大学 理工学部 物理学科 〒525-77 (宛名記述不要) (草津市野路町)
TEL 0775-66-1111 (大代), 0775-61-2711 (直) FAX 0775-61-2657
e-mail nakayamy@bke.ritsumei.ac.jp あるいは nakayamy@jpnuyitp.yukawa.kyoto-U.ac.jp

関西文化学術研究都市で注目をあびる自由電子レーザー研究所も完成した。兵庫県播磨科学公園都市には、8GeVのSRリング(SPring-8, 1997年稼動予定)の建設もすでにその半ばにいたり、高エネルギー物理学研究所のTRISTAN(30GeV)のSR光源への改造計画も話題にのぼっている。

光とともに歩んで来た人類は、既存光源にSR光という新しい光源を加えることによって、電波からγ線まですべての波長領域を我が手に収め、いま初めて、自然界をくまなく照らすことができるようになった。新しい光の有用性は、基礎・応用それぞれ多くの分野で、すでに認知されてはいるものの、その利用は、なお一部の特定研究者にかぎられ、我々が新しい光の恩恵をあまねく享受しているとは言い難い。

この光の幅広い共有をはかるとともに、さらにこの素晴らしい光の新しい多面的な活用法はないものだろうか。

2. 立命館大学SR光源設置の理念

2.1 新しい光の共有と活用

学問分野の興隆は、一般に当該分野の研究者の多寡に比例するものと思われる。研究者の多寡は分野の学問的魅力、実験装置のavailability並びに社会的要請に依存する。SR光科学の特徴を一言でいえば、その“学際性”にあるといえるが、SR光科学がどこまで興隆するかは、まだ未知である。

SR光科学の学問的魅力について本誌で言及する必要はあるまいが、日本のSR光源のavailabilityについては次のような実態がみられる。

現在、SR光のニーズに比べて、公開されているSR光源の数が少なく、かつ局在しているうえに、潜在ニーズの多い関西地区にSR光源は一台もない。またそれらのため、その有用性があまり知られていない。SOR-RING, PF, UVSORでは、大学からの利用者が、1年に2, 3回程度のビームタイムしか取れず、思うように研究が進まない。産業界の利用希望者も、一部大企業をのぞいて、

使用の機会が非常に少ない。また中型SR光源であるPFの約50%は小型SR光源で可能な実験であるとされている。こうした実態から、SR光源を“新規”に、“小型”で、“関西地区”に設置する意義は大きいといえる。

SR光を共有するためには、産官学の共同利用体制が有効であると考えられる。それは単なるSR光の共有にとどまらず、次のような副次的効果(活用)が期待されるからである。

日本の大学、企業等の研究機関は、それぞれが優れていても情報や刺激の少なさゆえに伸び悩んでいることが多い。一般に産官学交流のネットワークは、互いに異質の学問的、技術的刺激を提供する研究環境を醸成する。そうした研究環境は、産の技術力や開発力、学の学問的水準の高揚に資する大きな条件の一つになると考えられる。産(学)のニーズが、学(産)にとって思わぬ学問的(企業化)シーズとなって花ひらくことは往々にして経験するところである。さらにこのネットワークによって企業間の連携・技術移転、異業種交流等の新展開も期待される。

産官学交流については、すでにいわれて久しいが、期待されるような成果が上がっているとは言えないようである¹⁾。交流の活性化のためには、ある程度の年月が必要であるが、浮上している多くの障害の早期除去と、“学際性”のある先端的大型装置を核にした、新しい制度の導入は一つの布石になると考えられる。

立命館大学は、公私協力により滋賀県びわこ文化公園東端に、びわこ・くさつキャンパス(BKC, 58ha, 草津市野路町)を造営し(Fig. 1), 1994年4月、洛中、衣笠の地から理工学部を同所に全面移転し、次のような新しい型の産官学の交流ネットワークを構築中である。すなわち、“産官学協力”を基本にして、次の6研究機関からなる“総合理工学研究機構”(総研)を設置した。

①電子デバイスセンター

②材料・生産技術研究センター



Fig.1 立命館大学びわこ・くさつキャンパス
 写真左端に総合理工学研究機構/光技術研究センター（SR光施設をふくむ）建屋の建設が始まっている。写真右方が京都方面。

- ③環境総合センター
- ④ロボティクス・FA研究センター
- ⑤超高速計算・ソフトウェア研究センター
- ⑥建設プロジェクト研究センター

つまり、総研の設置にあたって、大学と産業界は当初から共同利用体制による交流を目的として、ともに内容の検討を行ってきた。この総研の大きな特徴は、産官学交流コーディネータ事務局（研究者を配置）を設置したことである。ここでは、産業界とのパイプ機能を果たすと同時に、まだまだ不備な交流活性化の条件整備等も行うことになっている。これら総研各センターの建屋は、びわこ・くさつキャンパスにおいて産官学が協力して、現在建築中である。この総研に、本SR光施設を主軸とする光技術研究センター（仮称）を加えることによって、産官学交流の核の強化を図っ

たのである。

こうして同大学SR光源は、私学が運営する産官学共同利用施設（産官学交流）の中核として、“だれでも、いつでも利用できる”ような体制のなかで、他の6研究センターと連携してSR光利用研究活動に供せられる。当然のことながら外国の産官学にたいしても門戸は開かれている。光技術研究センターは、学生にたいするSR光科学教育（次項）や企業技術者のリカレント教育も平行して行うことにより、SR光利用研究・技術の普及をもその活動目的とする。これは国内では初めての試みである。

2.2 SR光科学教育

科学技術は、宇宙科学等に見られる巨大化とマイクロマシン、ナノ・フェムトテクノロジー等の

微小化の両極に向かって進んでいるように見える。このうち微小化は省エネルギー、省資源、環境保護と係わって、人類存続の要件の一つとなるようにも思われ、静かではあるが徐々に時代の要請となると考えられる。立命館大学では、SR光施設を取り込んだ光工学分野の学科、ならびにロボティクス分野の学科新設の検討を進めている。両学科では、関連のSR光科学教育と、SR光を利用してそれぞれ学科固有のバルクマイクロマシニング、サーフェスマイクロマシニング、LIGAプロセス等の実践的教育を行う。

3. 設置SR光源

SR光源がカバーする軟X線や真空紫外の波長領域では、波長の可変性、大出力の2点に限れば自由電子レーザー(FEL)はSR光源より優位にたつ。関西文化学術研究都市の自由電子レーザー研究所の完成も契機となり、FELはSR光と相補的な役割を担いながら興隆するものと思われる。NIJI-IV²⁾は、現在FEL専用蓄積リングであるが、SR光源との併用も可能で、高輝度X線の発生の成功と経済性さえ向上すればこれからの小型SR光源の主流となる可能性もある。

もう一つ最近の小型SR光源でユニークな存在は、入射器としてマイクロトロンを利用し、シンクロトロン加速器・貯蔵リング(SR光源)として単体の超伝導電磁石を採用したマシンがある³⁾。これは、液体ヘリウムの消費量、挿入光源の設置、電子ビームのエミッタンス等に問題がなくもないが、小型(光源本体の外径3m)、操作性、建設費、維持費等の経済性が良く、加えて構造上、光源点に近接して測定器等を設置でき、600MeVの電子軌道は半径0.5mの円形軌道であり、約8KeVの光子エネルギーが利用可能である。

計画の段階では、独自のSR光源の自作も視野のうちにあったが、諸般の事情を考慮して、後者の住友重機械工業製の超電導小型SR光源AURORA³⁾の導入に踏み切った。本SR光源について詳しく

は、文献3を参照されたい。

4. 新設SR光源で何をするか

小型SR光源の関西地区設置の理念は、具体的には、上述のように日本国内における光源のavailabilityの増強に資するとともに、企業への開放ならびにSR光科学教育の推進である。とはいえ、世界には既に多くのSR光源が稼動中であり、新設される光源には、その利用法の特徴化が要請される。

SR光は、探索子としての利用と、作用子としての利用の二つに大別される。いうまでもなく前者には、結晶構造解析、XAFS(EXAFS, XANES)、光電子分光、微量元素分析、真空紫外分光、遠赤外分光等があり、いずれもSR光の出現によって、新しい実験研究の方法、技術とともに物理的情報の内容が刷新された(されつつある)。作用子としても、リガやSR光CVD等新しい利用法が実用に供され始めている。

SR光科学研究の今日までの経験をとおして、電子のエミッタンス、光子数、光子ビームサイズ等光源本体のパラメータや、分光素子・測定器等、周辺機器の性能ならびに既存実験手法それぞれの要点・問題点が明らかになった。新しく建設されるSR(小型)光源では、それら諸点の改善(高性能化)が求められる。また研究課題(利用法)についても、この間に芽生えた多くの新しい課題の展開もその使命となる。

小型SR光源の場合、これらの実験手法を使った研究課題には、ある程度の制限を受けるものもあるが、小型光源“で十分”、“の特徴を生かした”、あるいは“のほうが有利”という研究課題が相当数にのぼる。一般に、小型光源では分光素子における高エネルギー光子の高調波もなく、解析も容易になり、この点はどんな実験手法にも共通した利点である。ビームラインは14本設置するが、以下、計画されている研究課題の主なものについて実験手法別にふれる。

4.1 XAFS (EXAFS, XANES)

XAFSについては、K殻吸収端を利用するかぎり、対象元素はCuぐらいまで(CuのK殻束縛エネルギー; 8.9KeV)となる。ただし、LⅢ殻吸収端を利用すれば、Ybぐらいまで(YbのLⅢ殻束縛エネルギー; 8.9KeV)可能となる。小型SR光源で、透過法測定をしないときは、つぎの注意が必要となる。一般に軽元素では ω_k は急速に小さくなり(CuのK殻蛍光収率 ω_k ; 0.39), またL殻吸収端が利用できる重元素でもL殻蛍光収率はKのそれよりかなり小さいため(Ybの ω_L ; ~ 0.28), 多少装置は複雑になるが、蛍光X線の検出よりAuger電子を検出したほうが有利な場合がある(S/B比や検出効率との関係あり)。

軽元素試料が多い触媒試料, 高分子試料, 生物試料等のXAFSによる研究の重要性はますます高

くなると予測されている。XAFS専用ビームラインを設置し、通常のXAFS測定の他、XAFSによる高分子試料や生体試料のイメージングも計画している。

4.2 SR光電子分光

国内外におけるSR光電子分光を利用した研究課題は増加の一途をたどり、この手法は、今後も化学分析, 材料・素材物性の研究にますます重要な研究手段となる。利用波長域も小型SR光源の波長域そのものである。

専用ビームラインとして設置予定のSR光電子分光装置は、半導体超格子デバイス等表面・界面の関与する諸現象を原子構造と電子状態の関係においてin situ分析のできる世界で初めての装置である。Fig. 2に示すようにMBEで作製した試料は、

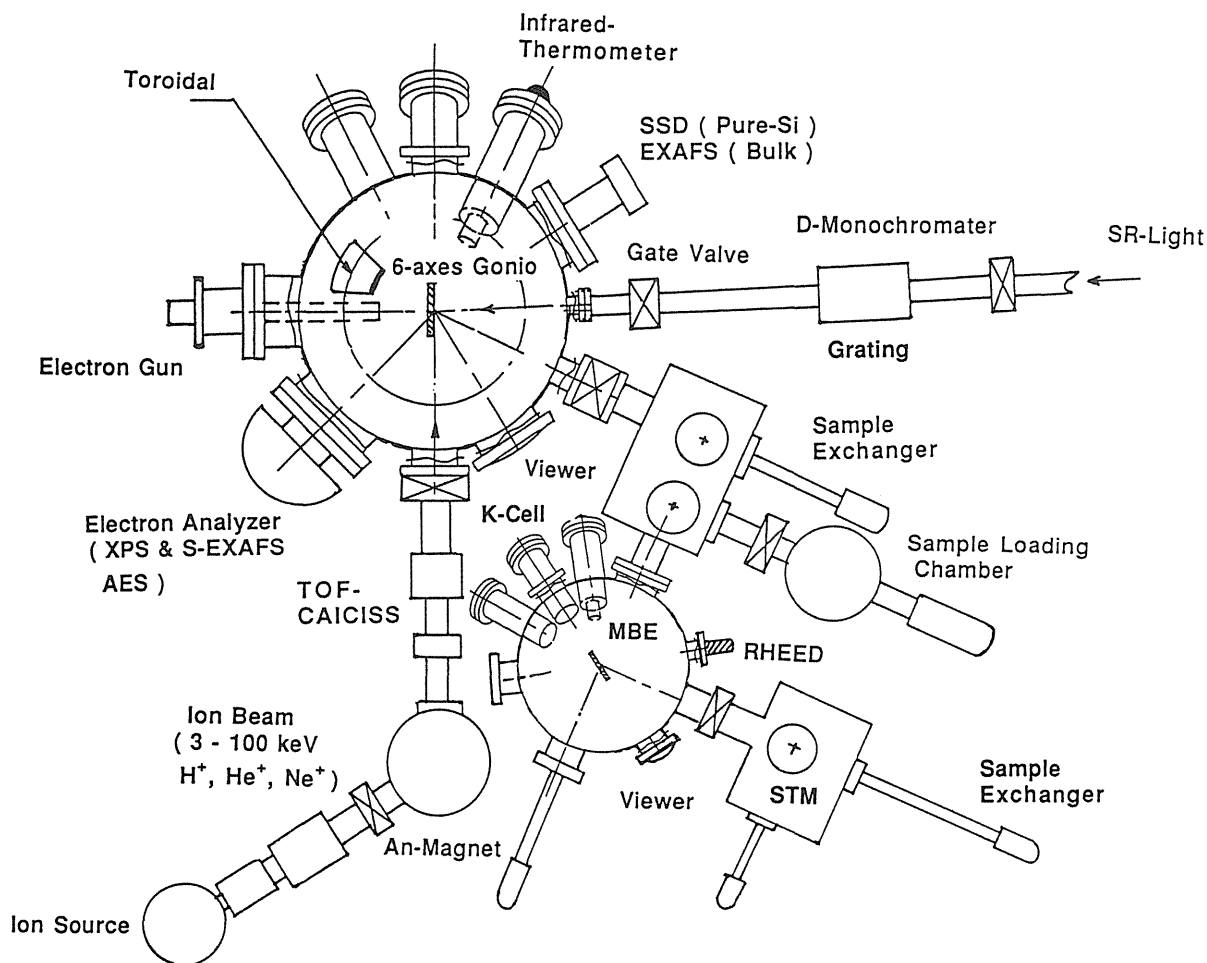


Fig.2 SR光電子分光システム概略図。

超高真空下で超高真空分析槽へ搬送したあと、SR光により光電子分光(分光素子を変えれば本装置によるXAFS測定も可能)を行うチャンネル(電子状態)と、原子構造を調べる散乱イオン分析チャンネル(トロイダル分析器/TOF分析器)によって分析される。光電子ホログラフィや光電子顕微鏡による各種試料表面の映像化も計画している。

4.3 SR軟X線顕微鏡

光学顕微鏡と電子顕微鏡の間を補完する顕微鏡として、SR軟X線顕微鏡は光学顕微鏡より高い分解能と電子顕微鏡よりゆるやかな試料条件(水中細胞の観察可)を有し、その実用化が期待される。我が国で初めての専用ビームラインを設置して、この分野の飛躍的進展を期している。対象は主として染色体、神経繊維、ウイルス等生物試料であるが、他に、薄膜材料、量子細線等の基礎研究への利用も考えられる。

4.4 SR光化学反応およびSR誘起結晶化

無機、有機ともに化学的諸反応を支配する価電子帯は、小型SR光源からの波長領域(エネルギー)に対して最も活性であり、反応解離過程等の基礎研究、SR-CVD(デバイス、絶縁体、金属)等の応用研究、さらにアモルファスSi薄膜の低温結晶化の研究など、多彩な研究の展開が期待される。

4.5 新設学科(検討中)における研究課題

光工学分野の学科の関連研究では、SR光の分析利用の他に、光蓄積リング⁴⁾(完全円形電子軌道で発生したSRを、同心の円筒ミラーで反射させ、再び電子軌道の接線方向から電子軌道に入射させて共振させる一種のFEL)や、このリングで発生したレーザーによる逆コンプトン効果を利用した硬X線源(可視光からMeVまで可能)等の光源開発研究、ならびにSR光導光素子の開発研究も行う。ロボティクス分野の学科の関連研究は、マイクロ

マシンング、LIGAの技術開発研究をとおして、知能化マイクロロボットを目指した基礎研究を行う。これら二つの新学科はSR光科学の普及と推進・展開に大きく資するものと期待される。

4.6 その他の研究課題

X線回折・散乱、全反射蛍光X線、真空紫外分光、遠赤外分光などの標準的実験手法による研究のためのビームラインも設置し、国内光源の絶対数不足を補い、さらにその利用分野のSRによる新しい研究課題への展開をはかる。

5. 共同利用体制

運営体制は所長、副所長の他に、光源本体ならびにビームライン、測定器等周辺装置の維持、管理、開発および事務に専属のスタッフをおいて利用者の便に供する。

“だれでも、いつでも使えるSR光施設”は、そのためには、制度的、“ハード”的に使いやすく、かつ魅力ある性能をもった施設(周辺装置)である必要がある。

制度的には、オープンにする必要から、産官学のユーザーの意見を十分くみ取れるような組織を編成して施設の運営を行う予定である。使いやすいハードと魅力ある性能を実現するために、上述のビームライン毎に同様に産官学の専門家からなるワーキンググループを組織し、現在、具体的仕様を詰めている。理工学部が所有するイオン加速器、電子顕微鏡等の各種分析装置や、スーパーコンピュータ、ワークステーション、画像処理等の各種データ処理装置もSR光施設の研究水準を上げるために使用できるようにする。滞在型研究者のための宿泊施設も検討中である。

うえのワーキンググループは適切な時点で、研究課題(実験手法)毎に同様に産官学から組織された研究委員会/研究組合(現在編成中)に移行する。企業等ユーザーのサポートやリカレント教育もここで行う。

6. 建設場所と地域環境

立命館大学SR光施設は、滋賀県びわこ文化公園東端の同大学びわこ・くさつキャンパスの北東の一角、10,000㎡の敷地に、建築中の同大学総研に隣接して、1994年10月25日、2,100㎡の建屋の建設に着工した (Fig. 3)。キャンパス (びわこ文化公園) は滋賀県南部丘陵地帯の北端に位置し、都会的な便利さとともに豊かな自然に囲まれ、加えて琵琶湖まで7km, “瀬田の夕照”, “矢橋の帰帆”などの景勝, や三井寺, 石山寺など名刹も近

い。

衆知のように関西 (京滋) 地区には、多くの理工系大学、公的試験研究機関ならびに、機能材関連の大手企業や中堅企業が集中している。さらに、関西文化学術研究都市との交通アクセスもよく (京滋バイパス, 京奈道路経由, 車で約40分), 一段と相乗的効果が高まり産官学交流の実のある展開が期待される。

交通環境はJR東海道本線 (びわこ線), 京都駅から20分のところに、すでに南草津駅が新設さ

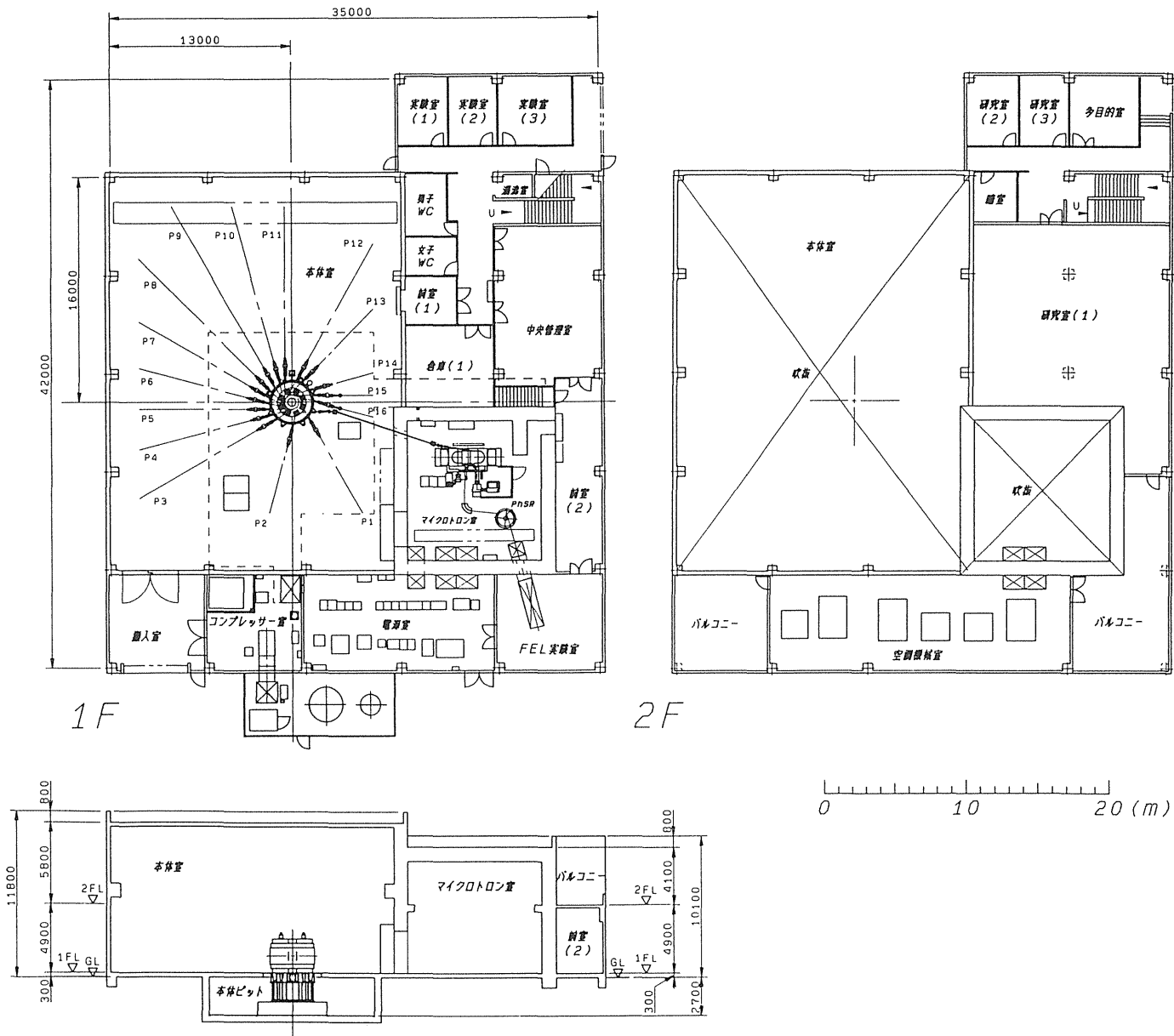


Fig.3 立命館大学光技術研究センター, SR光施設, 建屋平面図と断面図。

れ、南草津駅からキャンパスまでは約2km、定期バスが出ている。車では名神高速道路のインターからは10分(大阪方面からは、瀬田西インター出口を、名古屋方面からは瀬田東インター出口利用)、一般道は国道1号線から約5分でアクセスできる。キャンパス西隣には第2名神高速道と現名神高速道のジャンクションの建設が決定しており、近畿圏、中部圏、北陸圏からのアクセスは至便である。

7. おわりに

SR光は、強くて質のよい新しい波長領域の光を提供するが、それは既に明らかなように、夢の光ではない。それを普及させ、その利用価値を高めるためには、他のプローブとの相補関係(電子、イオン利用分析法との併用など)を確立させることが重要であり、その応用・実用研究体制との連携プレイ(他の科学技術分野や産官学との交流体制)こそが、SR光科学の将来をきめるものと考え

る。立命館大学SR光施設計画は、ほぼこの線に沿って進行している。

ともあれ、一私学による、SR光施設の設置と維持は並大抵のことではない。目標はセンターオブエクセレンスの構築であり、その準備のために現在、関係者は日夜心血を注いでいる。滋賀県びわこ文化公園都市において、日本の大学で2番目のSRが発光するのは、1996年春になる。

文献

- 1) 国土庁大都市圏整備局「近畿リサーチ・コンプレックスの形成に関する調査」報告書、平成6年3月。
- 2) M. Kawai, K. Aizawa, S. Kamiya, M. Yokoyama, Y. Oku, K. Owaki, H. Miura, A. Iwata, M. Yoshiwa, T. Tomimasu, S. Sugiyama, H. Ogaki, T. Yamazaki, K. Yamada, T. Mikado, and T. Noguchi: Nucl. Instr. and Methods, **A318**, 135 (1992).
- 3) たとえば、山田廣成、堀利匡、放射光, **6 (4)**, 421 (1993).
- 4) H. Yamada: Nucl. Instr. and Methods, **B79**, 762 (1993).

一口メモ

沈丁花

前年から花芽をしっかりと抱いて休んでいた草木は啓蟄を過ぎた頃からそわそわしてきました。中でも遠くからその存在の判る沈丁花は仲春の代表的な花の一つです。

ジンチョウゲ科ジンチョウゲ属の常緑性低木は中国原産で、室町時代に渡来しており、香木である沈香と丁子に劣らないふくよかな香りがする花をつけることから“沈丁花”の字が当てられたそうです。さし木はいとも簡単で、梅雨期に鹿沼土にさしておけば良く、移植後3年もしますと花をつけます。しかし、移植をきらうので、大きくなりましたら動かさないで下さい。(K. Ohsima)

